

Area-Efficient Architecture for Joint Estimation of Fine Timing and Integer Carrier Frequency Offsets

김태환, 박인철

한국과학기술원(KAIST) 전자전산학과 전기 및 전자전공

Abstract

In OFDM systems, synchronization is one of the most critical problems, as timing offset can cause interferences between symbols and frequency offset can raise interferences between sub-channels or cyclic-shifts of the frequency domain signals. The new communication standard IEEE802.16d-2004 often called WiMAX employs repetitive preambles to estimate the offsets by taking correlations among preambles. However the two offsets have been treated independently in most of the previous works, resulting in inefficient implementations. In this paper, a new architecture that can estimate both fine timing offset and integer frequency offset at once is proposed to achieve efficient hardware implementations. In addition, the proposed architecture produces better estimation accuracy than the previous works.

1. 서론

OFDM 기반의 시스템에서, 수신 신호에 대한 시간과 주파수 동기는 전체 성능을 좌우하는 가장 중요한 요소다. 본 논문에서는 이러한 OFDM 기반의 시스템 중, 현재 가장 활발하게 상용화가 진행 중인 WiMAX 의 IEEE802.16d-2004 표준[1]을 만족하는 수신기에서의 시간과 주파수 동기 문제를 고찰하고, 시간 동기와 정수 배의 주파수 동기를 동시에 추정하는 효율적인 구조를 제안한다. 그리고 제안된 방식을 기존의 방식과 비교하여 실제 채널환경하에서 성능을 검증하였다.

2. 동기화 문제

IEEE802.16d-2004 는 버스트 방식의 OFDM 시스템으로써, 프레임 단위의 데이터 전송을 기본으로 한다. 송신기에서 수신기로 전송하는 프레임은 항상 그림 1 과 같은 프리앰블로 시작되며, 수신기에서는 보통 이러한 프리앰블구조를 사용하여 동기화를 수행한다.

CP	64	64	64	64	CP	128	128
----	----	----	----	----	----	-----	-----

그림 1. 다운링크 프리앰블 구조

a) 시간 동기 추정

그림 1 에서 보는 바와 같이 다운 링크 프리앰블은 크게 길이 64 의 네 개의 시퀀스와 길이 128 의 두 개의 시퀀스로 나눌 수 있는데 시간 동기는 이러한 두 개의 시퀀스 사이의 경계를 알아내어 OFDM 복조를 시작하는 시점을 정하는 것으로, 길이 64 의 네 개의 시퀀스의 마지막 부분을 정확히 알아내는 것으로 표준에서는 시간 동기의 추정 오류를 기저 대역에서의 4 샘플까지 허용하고 있다[1]. 이러한

정밀한 시간 동기를 추정하는 방식은 크게 두 가지 방식으로 나눌 수 있는데, 프리앰블의 반복적인 구조에서의 자기 상관 함수를 사용하여, 그 값이 정해진 문턱 값 보다 작아지는 시점을 경계 점으로 정하여 시간 동기를 추정하는 방식과[2][3], 정해진 프리앰블과 수신 신호 사이의 상호상관을 사용하여 그 값의 첨두치를 이용하는 방식이 있다[4]. 전자의 경우 주파수 오프셋에 덜 민감한 반면에, 추정 오차가 큰 편이고, 후자의 경우 정확한 추정이 가능한 반면에 주파수 오프셋에 민감한 문제점이 있다.

b) 주파수 오프셋 추정

수신기에서는 수 GHz 대역의 RF 신호를 기저대역으로 다룬 컨버전 하게 되는데, 이러한 과정 중에 주파수 오프셋이 발생한다. 이 값은 보통 부 채널 사이의 간격으로 정규화된 값으로 나타내고, 프리앰블의 반복적인 구조를 사용하여 동일한 두 수신신호의 위상 차를 측정하여 추정한다[2]. 그러나 이러한 방법을 이용하여 추정 가능한 범위는 프리앰블의 반복주기에 반비례 하게 되는데, 표준에서의 최대 추정 가능 범위는 부 채널 간격의 -2 배~2 배가 된다[1]. 그런데, 표준에서는 최대 주파수 오프셋을 전송 주파수의 $\pm 8\text{ppm}$ 까지 허용하고 있으며, 1.5Mhz~10Mhz 의 다양한 대역폭과 지역에 따라 다소 다르지만 2~5GHz 대의 다양한 전송 주파수를 가정하고 있기 때문에[1], [2]에서 제시된 방법으로 추정 가능한 범위 외에 부 채널 간격의 정수 배 주파수 오프셋의 추정이 필요하다.

정수 배 주파수 오프셋은 주파수 영역의 신호를 사용해서 추정할 수 있는데, 이 오프셋은 주파수 영역신호의 순환 이동을 의미하므로, 수신된 신호를 주파수 영역으로 변환하여 순환이동 량을 변화해 가면서 이미 알고 있는 신호와의 상호상관 값을 사용하여 구한다[5]. 그러나 이 방법은 신호의 시간 동기 오류에 매우 민감하며, 이를 개선하기 위한 다른 방법들이 제시되었다[6].

3. 제안하는 구조

정수 배 주파수 오프셋을 추정하기 위해 기존 방법들을 사용하면 수신 신호를 주파수 영역으로 바꾸기 위해 DFT 를 수행해야 되기 때문에 이로 인한 하드웨어 오버헤드와 지연 문제가 있다. 또한, [6]에서와 같은 방식을 사용하여 추정하게 된다면, 매우 정확한 시간 동기 추정이 필요하다.

이를 통해, 정수 배 주파수 오프셋의 추정과 정밀한 시간 동기 추정은 서로 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다.

제안하는 방식은 수신 신호와의 상호상관을 구하는 정해진 신호를 표준에서 허용하는 주파수 오프셋만큼 미리 왜곡시켜서 이를 상호상관에 사용한다. 이 때에 사용되는 수신 신호는 부 채널 간격보다 작은 주파수 오프셋이 미리 보상되어 정수 배의 오프셋만 남아 있다고 가정한다. 이와 같은 방법으로 k 만큼의 정수 배 주파수 오프셋으로 미리 왜곡된 신호 s_k 는 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 W_N^{ki} 는 정수 배 주파수 오프셋을 위한 왜곡 성분을 나타낸다.

$$s_k = \sum_i s[i] \cdot W_N^{ki} \quad (1)$$

미리 왜곡된 신호들과의 복수의 상호상관을 구한 후, 그 중에서의 최대값을 택하여, 그 값의 시간 영역에서의 첨두치를 이용하여, 정수 배 주파수 오프셋과 함께 정확한 시간동기를 (2)와 같은 방식으로 추정한다. 여기서 \hat{r} 은 정수 배의 주파수 오프셋만이 존재하는 수신 신호이며, n, k 를 통해 시간 동기와 정수 배 주파수 동기 추정이 이루어진다.

$$\arg \max_{n,k} \left(\sum_i s_k^*[i] \cdot \hat{r}[n+i] \right) \quad (2)$$

그림 2 는 이렇게 미리 왜곡된 신호를 사용하여 병렬적으로 복수의 상호상관을 구하여 정수 배의 주파수 오프셋과 시간 동기를 동시에 추정하는 구조로서, 최종적으로 부 채널 간격의 -6~6 배까지의 주파수 오프셋 추정이 가능하고, 이는 표준에 정의된 허용 범위를 포함한다. 또한, 상호 상관은 부호로 양자화된 값을 사용하므로 추가적인 하드웨어는 매우 간단하다. 그리고 모든 추정이 시간 영역에서 이루어지므로, 추가적인 신호 변환 과정과, 그로 인한 하드웨어 오버헤드가 없다.

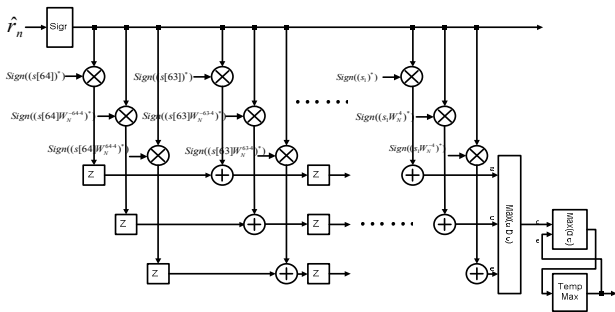


그림 2. 제안하는 구조

3. 실험 결과

실험은 SUI-3 [7] 와 동등한 채널 환경 하에 이루어 졌으며, 표준에서 정의하고 있는 성능 평가 SNR 구간인

3~20dB 상에서 이루어 졌다. 그림 3(a)는 SNR 에 따른 시간 동기 추정 RMS 오류를 나타낸다. 기존의 자기상관함수와 고정된 문턱 값을 사용하는 방식에 비해 본 논문에서 제안하는, 미리 왜곡된 신호와의 상호상관방식의 추정이 더 정확한 추정이 가능하다는 것을 볼 수 있다. 그림 3(b)는 SNR 에 따른 정수 배 주파수 오프셋의 추정 오류 비율을 나타낸다. [5]의 방법은 자기상관을 사용하여 부정확한 시간 동기 오류를 측정하는 방식으로 인해 매우 안 좋은 성능을 보이며, 제안된 방식은 [7]에서 제시된 개선된 방식과 비교해도 더 좋은 성능을 보이고 있다.

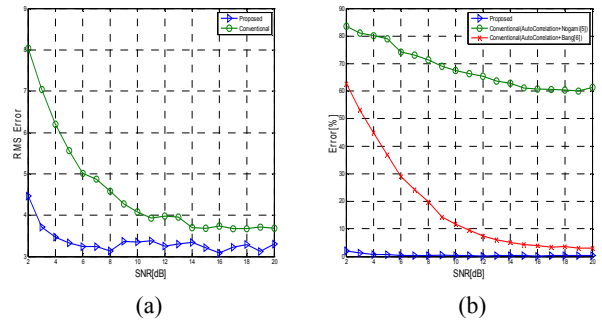


그림 3. 동기 추정 성능 (a) 시간 동기 추정 (b) 정수 배 주파수 동기 추정

3. 결론

본 논문에서는 WiMAX IEEE802.16d-2004 의 프리앰블 구조를 사용하여 시간 동기와 정수 배 주파수 오프셋을 동시에 추정하는 새로운 구조를 제안하였다. 제안된 구조를 통해, 시간 동기와 정수 배의 주파수 오프셋의 추정은 시간 영역의 신호를 사용하여 동시에 이루어 질 수 있도록 고안되었기 때문에, 하드웨어 오버헤드와 불필요한 연산을 줄일 수 있다. 또한, 제안된 구조의 추정 성능이 기존의 방식과 비교하여 우수하다는 것을 실험을 통해 확인하였다.

참고문헌

- [1] Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std. 802.16, 2004.
- [2] T. M. Schmidl and D. C. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for OFDM," IEEE Trans. Comm., vol. 45, pp. 1613-1621, Dec. 1997.
- [3] Jimenez, et al., "Design and implementation of synchronization and AGC for OFDM-based WLAN receivers," IEEE Trans. C.E., vol. 50, pp. 1016-1025, Nov. 2004.
- [4] Fredric Tufvesson, et al., "Time and frequency synchronization for OFDM using PN-sequence preambles," in Vehicular Technology Conference Proceedings, 1999, vol.4, pp.2203-2207
- [5] H.Nogami and T.Nagasima, "A frequency and timing period acquisition technique for OFDM systems," in Proc. PIMRC'95, 1995, pp.1010-1015
- [6] K.Bang, et al., "A coarse frequency offset estimation in an OFDM system using the concept of the coherence phase bandwidth," IEEE Trans. Comm., vol. 49, pp.1320-1324.
- [7] V. Erceg et al., "Channel Models for Fixed Wireless Applications," IEEE 802.16 Broadband Wireless Working Group, Jan. 2001, IEEE 802.16ec-01_29r4